doi:10.13866/j.azr.2019.05.15

# 土壤类型和降雨变化对猪毛蒿种群动态的影响①

苏　莹[1,2]，　李月飞[1,2]，　陈　林[1,2]，　祝忠有[1,2]，
袁　闯[1,2,3]，　孟文婷[1,2]，　朱　林[1,2]
（1. 宁夏大学西北退化生态系统恢复与重建教育部重点实验室，宁夏 银川　750021；
2. 宁夏大学西北土地退化与生态恢复省部共建国家重点实验室培育基地，宁夏 银川　750021；
3. 宁夏大学农学院，宁夏 银川　750021）

**摘　要：**以分布在宁夏盐池县荒漠草原的广布种猪毛蒿（*Artemisia scoparia*）为研究对象，选择3种土壤类型（风沙土、风化基岩残积土和灰钙土），利用野外试验装置改变降雨格局，采用定点样方法，探讨其对猪毛蒿种群动态的影响。结果表明：风化基岩残积土的土壤体积含水率高于风沙土和灰钙土；增雨区，风沙土、风化基岩残积土和灰钙土的土壤体积含水率分别提高了10.6%、6.6%和20.2%；减雨区则分别降低了44.1%、9.2%和20.1%。猪毛蒿的存活曲线属于凹型，为r－对策者。风沙土，猪毛蒿的冠幅较大，而灰钙土的密度较大。猪毛蒿生长中期，风沙土增雨区内的株高、冠幅较大，而减雨区的密度较大；风化基岩残积土，减雨区的密度较大，而增雨区的株高、冠幅较大；灰钙土，减雨区的密度最小，但株高、冠幅均较大。生长前期，土壤类型、水分与株高、冠幅呈负相关；生长中期，土壤水分与密度呈显著负相关，土壤类型与株高呈显著负相关、与冠幅为极显著负相关；生长后期，土壤水分与密度呈极显著负相关；土壤类型与冠幅呈极显著负相关。猪毛蒿生物量与全碳、全氮呈显著正相关关系（$P<0.05$），与全磷呈显著负相关关系（$P<0.05$）。表明土壤类型和降雨显著影响猪毛蒿的种群动态变化。土壤类型主要影响猪毛蒿的冠幅；猪毛蒿在生长中后期，土壤水分对其种群密度产生显著影响。该结论为荒漠草原的改良提供理论依据。

**关键词：**猪毛蒿；土壤类型；降雨变化；存活曲线；种群动态；荒漠草原；盐池县；宁夏

猪毛蒿（*Artemisia scoparia*）为菊科蒿属，一、二年生或多年生草本植物，植株具有浓烈的气味，全国各地均有分布，其中，荒漠、路旁或农田较为常见。由于猪毛蒿具有较强的叶片形态和生理的可塑性，对立地环境有很好的适应性[1]，故成为宁夏盐池县荒漠草原区主要的先锋物种和建群物种[2]。近年来，随着退耕还林还草、封育禁牧等政策的实施，使得宁夏荒漠草原区的植被覆盖度得到显著提高，其中以猪毛蒿为优势种的草场面积达到了1/4[3]。因此，对于优势种猪毛蒿种群的生活史、生长策略以及更新动态的研究就显得尤为重要。

植物种群指一定时间内占据一定空间的同种植物所有个体的总和[4]。而植物种群动态（population dynamics）主要研究种群在时间和空间上的变化规律及其生态学特性，对于揭示种群与环境间的相互关系，阐明种群的作用和地位[5]、更新策略以及演替规律等具有重要意义[6]。植物的生长发育会受到外部环境的影响，因此，只有与环境因子相适应，植物才能具有良好的生长状态[7]。通常情况下，植物种群的密度、株高、冠幅和生物量等数据可用来表示种群的发育特征[8]、生长状态，还可以展现种群对环境条件的适应结果。目前，虽然已有对种群动态的研究[9－10]，但大多是基于乔木和灌木，而关于草本植物的研究则较少。

宁夏盐池县荒漠草原地区，土壤类型主要有灰钙土、风沙土和风化基岩残积土。由于土壤因子存在明显的差异，为猪毛蒿提供了多样的生境条件。此外，降水作为荒漠草原区生态系统重要的水分来源[11－12]，且年降水量小，时空分布不均[13]，直接影响土壤水分及植物种群的动态变化[14－15]。据预测，

① **收稿日期：**2018－11－18；　**修订日期：**2019－01－28
**基金项目：**国家重点研发计划（2016YFC0500709）；宁夏高等学校一流学科建设（生态学）项目（NXYLXK2017B06）；第三批宁夏青年科技人才托举工程项目（TJGC2018068）；宁夏大学研究生创新项目（GIP2018070）资助
**作者简介：**苏莹（1993－），女，硕士研究生，主要从事植物生态学研究. E-mail：suiyling2246@163.com
**通讯作者：**朱林. E-mail：zhulinscience@126.com

未来北半球中高纬度地区的降水量将发生显著变化[16],这将对植物种群的更新及动态变化会产生重要的影响。因此,土壤和降水的异质性与该区植被的生长发育存在密切的联系。目前,关于植物对异质生境响应的研究较多[17-18],但对于异质生境下草本植物猪毛蒿生活史策略的适应机制有待深入探讨。为此,本文以猪毛蒿为研究对象,研究不同土壤类型、降水变化条件,对猪毛蒿种群生长特征动态变化的影响,揭示猪毛蒿种群的耗水及生长动态规律,以期为宁夏荒漠草原区草场恢复提供理论支撑。

## 1 研究区概况

研究区位于宁夏盐池县柳杨堡乡杨寨子村(37°04′~38°10′N,106°30′~107°41′E,海拔1 400 ~1 450 m)。该区北部与毛乌素沙地相连,是黄土高原向鄂尔多斯台地、半干旱区向干旱区、干草原向荒漠草原区、农区向牧区过渡的生态交错区。气候为中温带大陆性气候,年平均气温8.2 ℃,年降雨量292 mm,主要集中在7—9月,蒸发量2 710 mm。冬春季多风沙,年平均风速2.8 m·s$^{-1}$,风向以西北风为主。

该区地带性的土壤为灰钙土,非地带性土壤是风沙土[19-20]。此外,裸露的风化基岩残积土也普遍分布,其中风化基岩残积土是白垩系时期,由分布在鄂尔多斯高原及邻近地区的沙丘岩,经过长期风化、侵蚀而形成的[21]。地表植被以沙地植被、荒漠植被为主。

## 2 材料与方法

### 2.1 试验设计

本研究于2017年5月1日在杨寨子村野外观测研究站进行。首先调查研究区的猪毛蒿群落,选取3个典型样地分别对应3种土壤,即风沙土、风化基岩残积土和灰钙土,每个样地设置3个重复(表1)。不同土壤类型的理化性质如表2所示。所选样地的群落类型均为猪毛蒿群落,地形相对平缓。此外,为减小样地间的相互影响,样地间距至少为50 m。

研究区近15 a来的平均降水量为299.3 mm,最大降水量为2011年的402.8 mm,距平增加34.6%;最小降水量为2005年的180 mm,距平减少39.8%。根据该区降雨特征,将增减雨量设为增雨区(降雨量增加30%)、减雨区(降雨量减少30%)和正常区(对照)。

表1 样地信息

Tab.1 Information of the sample plots

| 样地编号 | 纬度(N) | 经度(E) | 海拔/m | 土壤类型 |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 37°48′45″ | 107°29′57″ | 1 432 | 风沙土 |
| 2 | 37°48′29″ | 107°29′32″ | 1 402 | 风沙土 |
| 3 | 37°48′41″ | 107°29′18″ | 1 408 | 风沙土 |
| 4 | 37°48′46″ | 107°30′02″ | 1 433 | 风化基岩残积土 |
| 5 | 37°48′47″ | 107°30′00″ | 1 433 | 风化基岩残积土 |
| 6 | 37°48′42″ | 107°29′20″ | 1 405 | 风化基岩残积土 |
| 7 | 37°48′46″ | 107°29′59″ | 1 431 | 灰钙土 |
| 8 | 37°48′31″ | 107°29′35″ | 1 409 | 灰钙土 |
| 9 | 37°48′45″ | 107°29′28″ | 1 412 | 灰钙土 |

表2 3种土壤类型的养分含量

Tab.2 Nutrient contents of three soil types

| 类型 | 全碳/% | 全磷/% | 全氮/% |
|---|---|---|---|
| 风沙土 | 0.51±0.12a | 0.02±0.00b | 0.04±0.01a |
| 风化红色基岩 | 0.36±0.04a | 0.04±0.01a | 0.03±0.00a |
| 灰钙土 | 0.43±0.02a | 0.04±0.00a | 0.03±0.00a |

注:不同小写字母表示同一指标不同土壤类型下的显著性差异。

本研究应用自制的增减雨装置开展实验[22](图1),该装置由支撑架、截雨槽和增雨槽组成。支撑架是由20个1 m×1 m的铁架子组成的2 m×6 m的活动围栏,分为3个区:增雨区、减雨区和正常区。其中,减雨区主要是通过截雨槽将自然降雨截留,以减少下方减雨样地内的降雨量来实现减雨的目的,同时截留的降雨受重力作用流进增雨槽内,实现同步增雨的目的;正常区则不做任何处理。减雨槽和增雨槽均为断面U形硬质PC(聚碳酸酯)材料,并用打钻机在增雨槽上由高到低打不同大小的孔径。减雨槽和增雨槽平行组装在同一水平面上,且与水平面呈15°的夹角。将对应的6根雨槽均匀的分布于支撑架的增(减)雨区,面积占小区面积的30%,故增(减)雨量为30%,正常区不放置PC管(图1)。每个样地中增雨区、减雨区及正常区的面积均为2 m×2 m。为减小边缘效应,在小区内设置3个50 cm×50 cm的样方,并不定期清除样方内的其他植物种。

### 2.2 土壤水分测定

每个样地设置3种降雨处理,在每个处理区分别埋设美国HOBOU30土壤湿度自动记录仪,固定

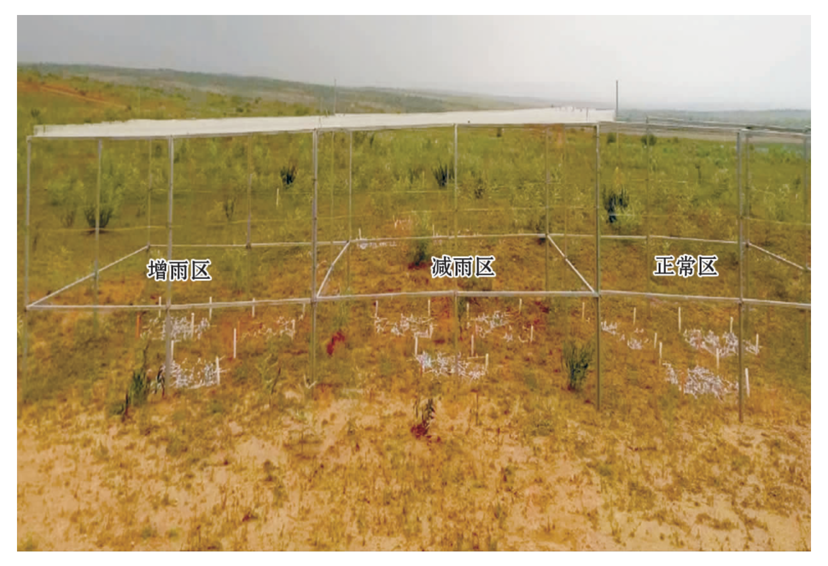



图 1　增减雨装置示意图

Fig. 1　Sketch diagram of the device for increasing or decreasing precipitation



监测猪毛蒿种群下土壤水分的动态变化。数据采集步长为 10 min。自 2017 年 5 月 13 日至 10 月 5 日进行连续动态监测,所测得的值为土壤体积含水率(%)。

### 2.3　野外调查

种群固定监测统计于 2017 年 5 月 25 日开始,每隔 19 d 调查 1 次,于 2017 年 10 月 5 日结束。调查各样方内猪毛蒿的株数、高度、冠幅(长和宽),并对测定植株进行标记(标签标记法,各样方均从“1”开始编号,如有新萌发的苗则继续向后编号)。开始标记时,由于有些个体太小,以至于无法标记,故选择相对较大的个体挂签标记。定期跟踪调查样方内所有标记的猪毛蒿,并补充标记的个体,记录其生长状况,对新萌发的植株继续标记。其中,猪毛蒿的密度 = 总株数/1 $m^2$,冠幅 = 长 × 宽。于 10 月 6 日将样方内猪毛蒿收获,带回实验室称其干重。

### 2.4　数据处理

采用 IBM SPSS Statistics 22 进行单因素方差分析、Duncan 多重检验,Pearson 相关分析,方差分析的数据以平均值 ± 标准误差表示;采用 Microsoft Excel 2010 软件进行数据整理及绘图。

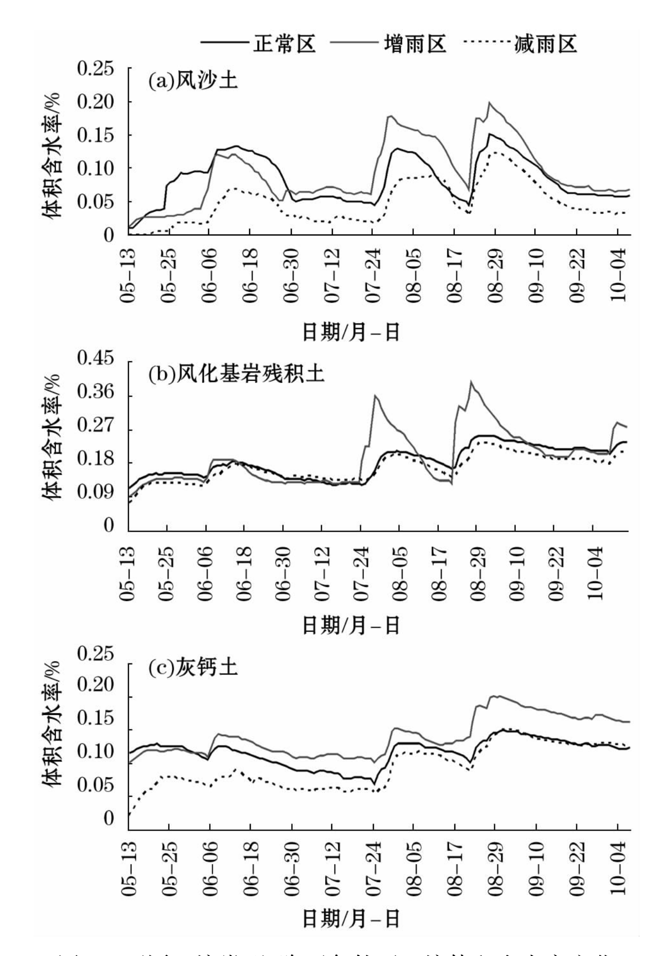



图 2　不同土壤类型、降雨条件下土壤体积含水率变化

Fig. 2　Variation of bulk moisture content of different soil types under different rainfall conditions

## 3　结果与分析

### 3.1　土壤体积含水率的变化特征

总体而言,5—10 月,不同土壤类型的土壤体积含水率随时间的增加呈波动上升趋势(图 2)。风沙土的土壤体积含水率变化较明显,而风化基岩残积土和灰钙土的土壤体积含水率变动较小,表明不同土壤类型的体积含水率具有不同的变化特征。此外,风化基岩残积土的土壤体积含水率高于风沙土

和灰钙土。

降雨量变化明显影响土壤体积含水率,总体表现为:增雨区 > 正常区 > 减雨区。其中,增雨区内,风沙土、风化基岩残积土和灰钙土的土壤体积含水率分别较正常区提高了 10.6%、6.6% 和 20.2%,而减雨区内,3 种土壤的土壤体积含水率分别降低了 44.1%、9.2% 和 20.1%。可见,当增减雨量为 30% 时,不同土壤类型的土壤体积含水率呈不同比例增减变化。

### 3.2 不同土壤类型、降雨变化条件下猪毛蒿的种群动态

3.2.1 密度变化特征 植物种群密度是出苗和死亡综合作用的结果。由图 3 可以看出,猪毛蒿的存活曲线属于凹型,为 r-对策者,且密度较大值出现在春夏季节。风沙土上,猪毛蒿的密度总体随时间呈下降的趋势。其中 6 月 13 日出现了一个异常较低值,这是由于 6 月初出现了一段较长时间的干旱,导致猪毛蒿大批死亡。10 月 5 日,存活的猪毛蒿密度为 65 ~ 70 株 · $m^{-2}$。降雨量影响猪毛蒿的种群密度,其中增雨区的密度最小;除 7 月 21 日正常区和减雨区的密度相同外,其余时期的密度均表现为:减雨区 > 正常区。正常区、增雨区和减雨区密度出现最大值为 5 月 25 日、7 月 21 日、5 月 25 日,且密度分别减少了 50.5%、30.4% 和 50.5%。

风化基岩残积土上,猪毛蒿的密度总体表现为随时间的变化而逐渐下降。其中,6 月 13 日的密度下降也是由持续干旱造成的。10 月 5 日猪毛蒿的密度约 34 株 · $m^{-2}$。降雨量变化对猪毛蒿密度的影响:5 月 25 日、6 月 13 日,正常区的密度最小,增雨区和减雨区的密度相差不大;7 月 2 日至 9 月 16 日,密度为:减雨区 > 正常区 > 增雨区;10 月 5 日,正常区的密度略高,增雨区、减雨区的密度相似,减雨区 > 正常区。正常区、增雨区和减雨区密度出现最大值为 7 月 2 日、5 月 25 日、7 月 21 日,且密度分别减少了 31.7%、34.1% 和 45.5%。

灰钙土上,猪毛蒿的密度为先上升,后下降。6 月 13 日的密度最大,10 月 5 日猪毛蒿密度为 40 ~ 60 株 · $m^{-2}$。降雨量的变化对于猪毛蒿密度的影响:5 月 25 日、6 月 13 日正常区的密度最大,减雨区的密度略高于增雨区;7 月 2 日至 8 月 28 日,密度表现为:正常区 > 增雨区 > 减雨区;9 月 16 日和 10 月 5 日减雨区的密度最低,增雨区的密度略高于正常区。正常区、增雨区和减雨区的密度最大值出现的时间为 6 月 13 日,且密度分别减少了 70.1%、48.9% 和 72.2%。

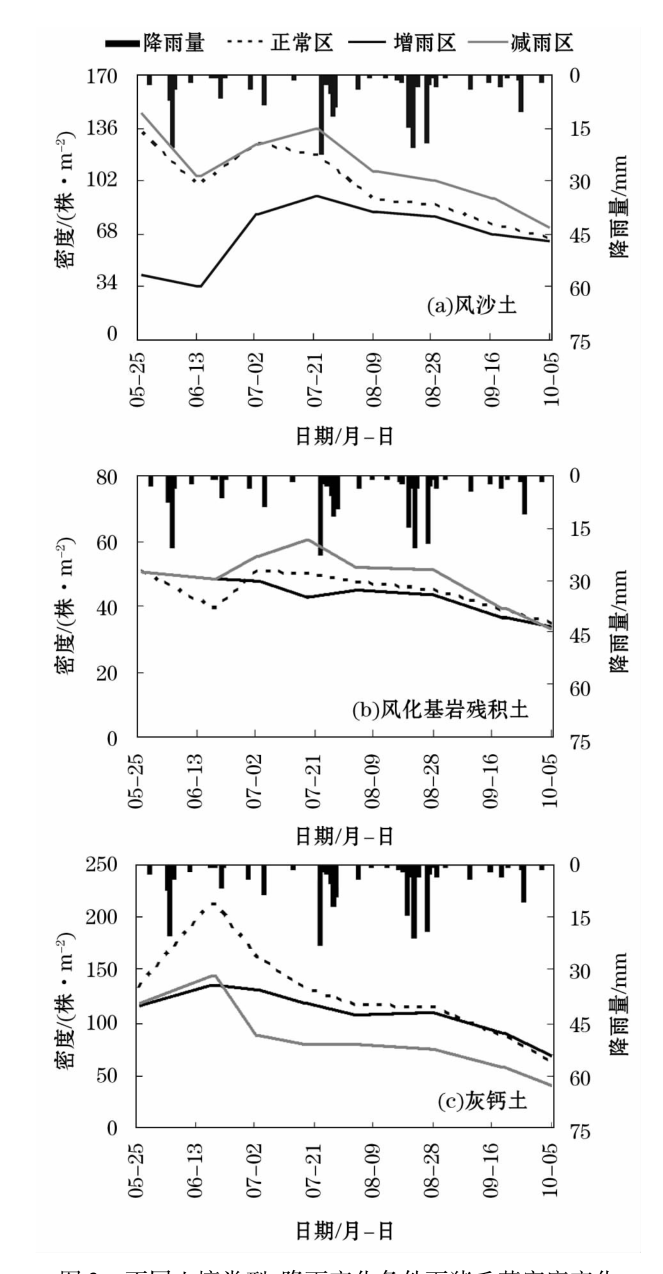



图 3 不同土壤类型、降雨变化条件下猪毛蒿密度变化

Fig. 3 Variation of *Artemisia scoparia* density over different soil types and under different rainfall conditions

3.2.2 株高变化特征 生长季内,不同土壤类型、降雨变化条件下,猪毛蒿的株高变化呈正态分布(图 4)。总体而言,8、9 月的株高值大于其余月份。风沙土样地,5 月 25 日、6 月 13 日,增雨区猪毛蒿的株高显著低于正常区和减雨区,此后,增雨区的株高逐渐增大;8 月 28 日至 10 月 5 日,增雨区的株高显著高于正常区和减雨区。

风化基岩残积土样地,7 月 21 日前,正常区、增雨区及减雨区的株高差异不显著;8 月株高表现为:

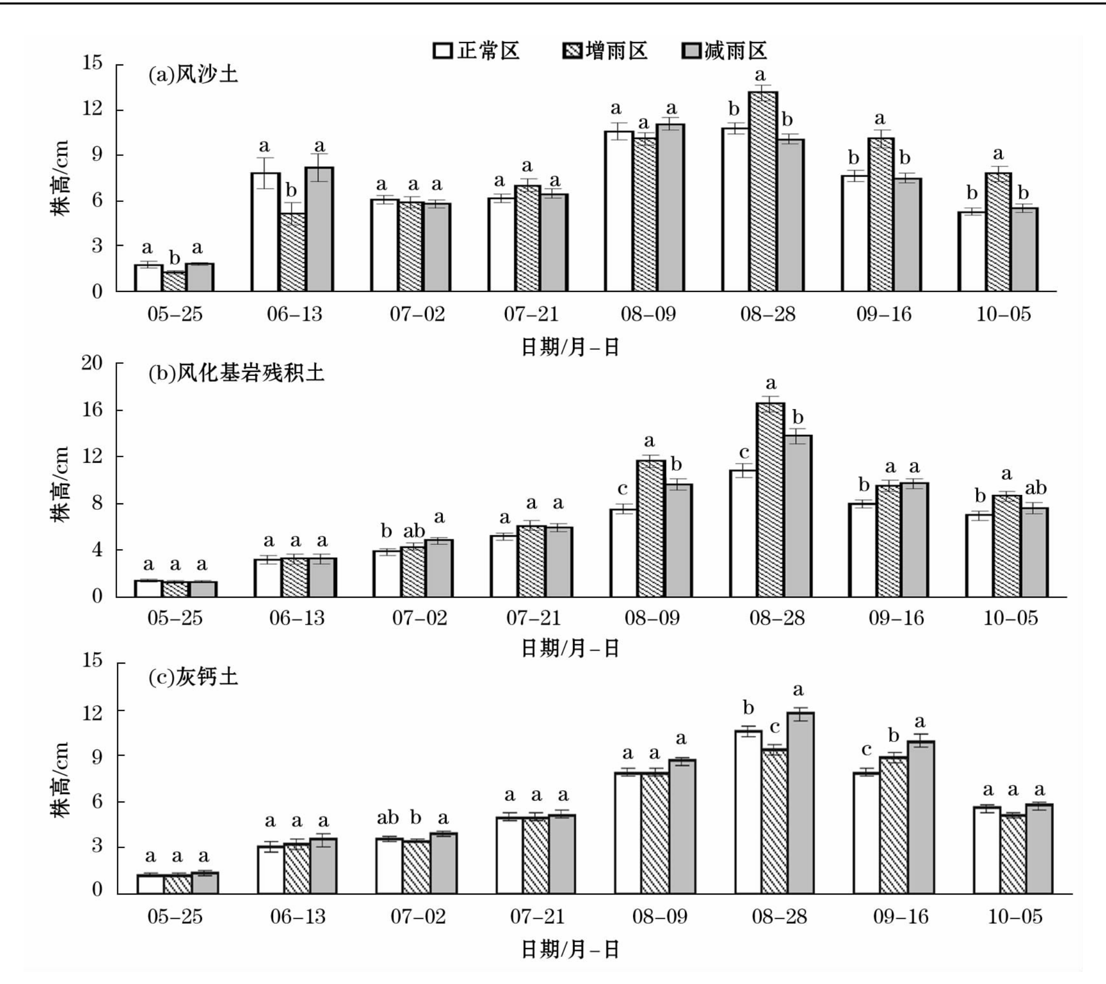



图4　不同土壤类型、降雨变化条件下猪毛蒿株高变化

Fig. 4　Variation of plant height of *Artemisia scoparia* over different soil types and under different rainfall conditions

增雨区 > 减雨区 > 正常区;9、10 月增雨区的株高显著高于正常区,而与减雨区无显著性差异,其中 9 月减雨区的株高高于增雨区,10 月则相反,增雨区的株高低于减雨区。

灰钙土样地,减雨区的株高一直保持较高水平。7 月 2 日减雨区的株高显著高于增雨区;8 月 28 日,株高表现为:减雨区 > 正常区 > 增雨区,差异达显著水平;9 月 16 日为:减雨区 > 增雨区 > 正常区,差异显著;10 月 7 日不同处理区内,猪毛蒿的高度差异不显著。

3.2.3　冠幅变化特征　生长季内,不同土壤类型、降雨变化条件下,猪毛蒿的冠幅呈正态分布(图 5)。总体而言,风沙土上猪毛蒿的冠幅最大,8 月 28 日,不同土壤类型、降雨变化条件下猪毛蒿的冠幅达到最大值。

风沙土样地,5 月 25 日至 8 月 9 日,不同降雨区内,猪毛蒿的冠幅差异不显著;8 月 28 日至 10 月 5 日增雨区的冠幅显著高于正常区、减雨区,且正常区和减雨区的冠幅相差不大。

风化基岩残积土样地,7 月 21 日前冠幅缓慢增加,而后快速增长;8 月 9 日至 9 月 16 日增雨区的冠幅高于正常区、减雨区,但无显著性差异;10 月 5 日增雨区的冠幅显著高于正常区。

灰钙土样地,8、9、10 月,冠幅表现为:减雨区 > 增雨区 > 正常区,其中 8、9 月减雨区的冠幅显著高于正常区;10 月 5 日不同降雨处理区内冠幅差异不显著。

3.2.4　生物量　猪毛蒿的生物量如图 6 所示,3 种土壤类型下,不同降雨区内的生物量无显著性差异($P > 0.05$),表明生长末期,猪毛蒿的生物量基本稳定,土壤和降水的影响较小。

### 3.3　不同土壤类型、降雨变化下的土壤水分与猪毛蒿生长指标间的相关分析

根据猪毛蒿密度、株高及冠幅的时间动态变化特征,将其生长过程人为地划分为:生长前期(5、6 月)、生长中期(7、8月)、生长末期(9、10月)。此

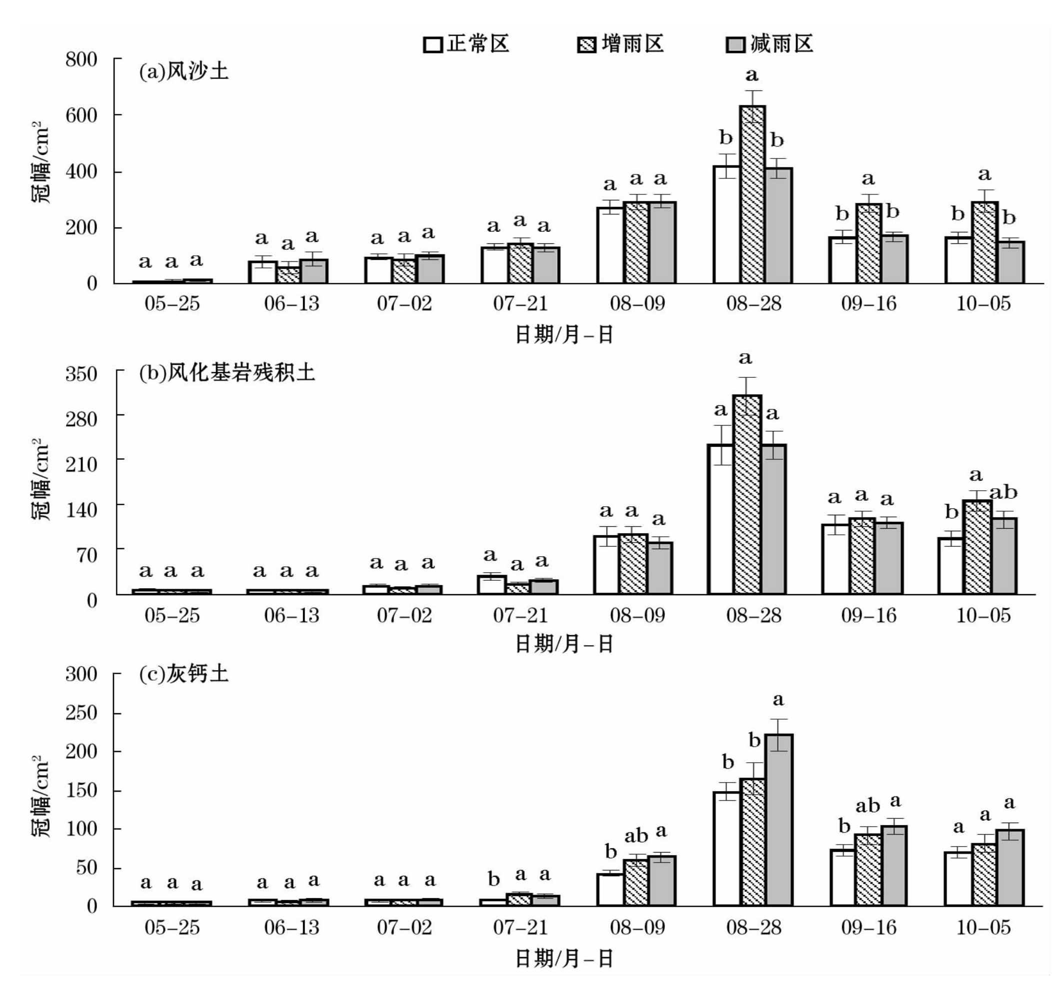
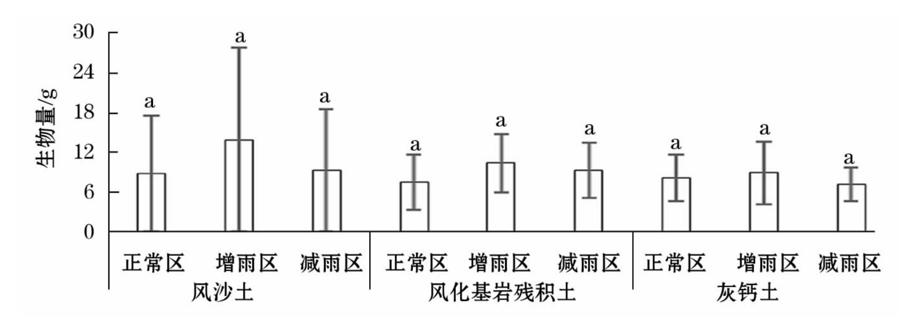



图5 不同土壤类型、降雨变化条件下猪毛蒿冠幅时间变化

Fig. 5 Variation of the canopy of *Artemisia scoparia* over different soil types and under different rainfall conditions




注:小写字母表示同一土壤类型不同降雨处理区的显著性差异。

图6 不同土壤类型、降雨变化条件下猪毛蒿的生物量

Fig. 6 Biomass of *Artemisia scoparia* over different soil types and under different rainfall conditions

外,为了便于分析,将风沙土、风化基岩残积土和灰钙土分别量化为1、2、3。最后对不同土壤类型、水分与猪毛蒿各生长期的指标(密度、株高及冠幅)进行相关分析。

由表2可知,猪毛蒿生长前期,土壤类型、土壤水分与株高、冠幅呈显著负相关,土壤类型与冠幅呈极显著负相关;冠幅与株高呈极显著正相关($P<0.01$)。生长中期,土壤水分与密度呈显著负相关($P<0.05$);土壤类型与株高呈显著负相关($P<0.05$),与冠幅呈极显著负相关($P<0.01$)。生长后期,土壤水分与密度呈极显著负相关($P<0.01$);土壤类型和冠幅、株高和密度均呈极显著负相关。由土壤养分与猪毛蒿生物量间的相关分析可知(表3),3种土壤中的全碳、全磷及全氮与猪毛蒿生物量

**表 3　不同土壤类型、水分与猪毛蒿生长指标间的相关分析**

**Tab. 3　Correlations among different soil types, soil moisture contents and growth indices of *Artemisia scoparia***

| | 生长前期 | | | | | 生长中期 | | | | | 生长后期 | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 土壤类型 | 土壤水分 | 密度 | 株高 | 冠幅 | 土壤类型 | 土壤水分 | 密度 | 株高 | 冠幅 | 土壤类型 | 土壤水分 | 密度 | 株高 | 冠幅 |
| 土壤类型 | 1.00 | 0.30 | 0.44 | -0.78* | -0.85** | 1.00 | 0.06 | 0.12 | -0.67* | -0.92** | 1.00 | 0.29 | -0.10 | -0.05 | -0.80** |
| 土壤水分 | | 1.00 | -0.51 | -0.69* | -0.71* | | 1.00 | -0.77* | 0.32 | -0.29 | | 1.00 | -0.80** | 0.57 | -0.28 |
| 密度 | | | 1.00 | 0.17 | 0.07 | | | 1.00 | -0.44 | 0.11 | | | 1.00 | -0.69* | 0.16 |
| 株高 | | | | 1.00 | 0.97** | | | 1.00 | 0.58 | | | 1.00 | 0.35 | | |
| 冠幅 | | | | | 1.00 | | | | | 1.00 | | | | 1.00 | |

注:* 表示相关性显著($P<0.05$),** 表示相关性极显著($P<0.01$)。下同。

**表 4　土壤养分与猪毛蒿生物量间的相关分析**

**Tab. 4　Correlation between soil nutrient content and biomass of *Artemisia scoparia***

| | 全碳 | 全磷 | 全氮 | 生物量 |
|---|---|---|---|---|
| 全碳 | 1 | -0.237 | 0.845** | 0.652 |
| 全磷 | | 1 | -0.184 | -0.177 |
| 全氮 | | | 1 | 0.404 |
| 生物量 | | | | 1 |

均无显著性相关($P>0.05$),表明土壤养分对于猪毛蒿生物量的影响较小。此外,全碳与全氮之间呈极显著负相关关系($P<0.01$)。

## 4　讨论

土壤水分制约植被的形成与发展,对于整个生态系统具有重要的影响[23],而降水分布的差异则影响土壤水分的变化特征[24]。本研究中,土壤类型、降雨变化对于土壤体积含水率的影响较为明显。其中,风化基岩残积土的土壤体积含水率高于风沙土和灰钙土,这是由于风化基岩残积土的硬度较大、黏粉粒含量较高,故持水性较好。此外,降雨的增减变化对于土壤体积含水率的影响十分显著,增雨区内,风沙土、风化基岩残积土和灰钙土的土壤体积含水率分别提高了 10.6%、6.6% 和 20.2%;而减雨区内,3 种土壤的体积含水率则分别降低了 44.1%、9.2% 和 20.1%。表明,当降雨量增加时,灰钙土土壤体积含水率的响应较为明显;当降雨量减少时,风沙土土壤体积含水率的响应较为敏感;而风化基岩残积土土壤体积含水率相对稳定,降雨量增减变化对其影响不大。且不同土壤类型的体积含水率与增减雨量不成同比例的增减变化,这与倪盼盼等[25]的研究结果一致,这主要是由于不同土壤类型,植物蒸腾、冠层截留及地表蒸发等因素综合作用的结果[26]。

r-对策者的适应性较强,生活史对策更加多样[27]。种子萌发及幼苗阶段是其生活史的重要时期,会经历较高的死亡风险[28]。张景光等[10]在沙坡头研究小画眉草的种群密度时认为,其总体呈下降趋势,且在一段没有降水时期,密度快速下降;徐彩琳等[29]研究也表明,作为 r-对策者的小画眉草,其种群数量变化较大,且动态依赖于降水的变化。本研究中,猪毛蒿作为典型的荒漠草本植物,其存活曲线属于凹型,为 r-对策者。春季气温回暖,降雨增多,条件较为适宜,故猪毛蒿在此阶段大量萌发;夏季,随着降雨量的增加、植株个体的生长以及激烈的种内竞争,导致猪毛蒿密度呈下降趋势。此外,秋季的降雨量也较多,但此时猪毛蒿已达生长末期,故数量减少。由于猪毛蒿的 r-生活史策略,能使该种群快速成为演替先锋物种[1]。

土壤是植物扎根的场所和养分的重要提供者,与植物的生长状况密切相关[30]。因此,土壤的异质性会影响植物的生长发育[18]。为了适应土壤异质性,植物个体结构和生长过程等会发生一系列的生态可塑性响应,而种群则通过数量、形态特征的变化进行适应性调节[31]。曹建新等[32]研究发现,不同土壤类型,滇青冈幼苗的苗高和地径生长量差异显著。吴春红等[33]认为,不同土壤类型白榆家系的株高达到显著差异。本研究结果表明,不同土壤类型,猪毛蒿的生长状态存在差异。其中,灰钙土上猪毛蒿的种群密度高于风沙土、风化基岩残积土;而风沙土上,猪毛蒿冠幅大于风化基岩残积土、灰钙土。这可能是由于风沙土的土质较疏松,猪毛蒿的根系能够向下延伸,充分利用土壤水分,故有充足的水分保证植株进行横向生长,导致冠幅增大。灰钙土的土壤结构较为紧密,猪毛蒿的根系较浅,可利用的土壤

水分有限,故种群个体相对较小。而风化基岩残积土的结构较为坚硬,土壤水分较多且变动较小,使猪毛蒿密度变化幅度较小。土壤和植物相互影响,相互作用,植物通过凋落物等影响土壤养分含量,土壤养分则会制约植物的生长[34]。本研究表明,猪毛蒿生物量与全碳、全氮和全磷的关系达到显著水平。这与熊炳桥等[35]的研究结论一致,即土壤养分会显著影响植物的生物量。

降雨是荒漠生态系统中制约植物生长重要的生态要素[36]。张腊梅等[37]研究科尔沁固定沙地植被特征对降雨变化的响应发现,降雨的增减变化对于植物群落的高度、盖度和密度等均有影响。闫建成等[38]通过对猪毛菜类和小禾草类植物随降雨梯度变化的研究发现,降雨量的增加有利于植物高度、生物量的增加。本研究认为,猪毛蒿生长中期,在风沙土上,增雨区的株高、冠幅较大,而减雨区的密度较多。表明风沙土上,生长中期的猪毛蒿对降雨变化的响应较为明显,当降雨量增加,促进植株个体生长;而当降雨量减少,土壤水分明显下降,制约猪毛蒿的密度。而在风化基岩残积土上,生长前期,降雨量的增加提高了猪毛蒿的密度,但对株高、冠幅影响不显著;生长中期,减雨区的密度较大,而增雨区的株高、冠幅较大。表明风化基岩残积土上,生长中期的猪毛蒿受降雨的影响较大,其中,减雨区的密度较大,制约冠幅的生长;增雨区则相反。灰钙土上,生长中期猪毛蒿的密度表现为:正常区 > 增雨区 > 减雨区,但减雨区的株高、冠幅较大,这是由于减雨区猪毛蒿密度小,种内竞争[39]较小,导致其能充分利用有限的水资源,在形态方面占优势。

宁夏盐池县荒漠草原地区,土壤类型和水分因子是影响植物生长、发育的主要因素。本研究中3种土壤类型的养分含量差异不显著,且对生物量也无显著性的影响。此外,对不同土壤类型、降雨变化下的土壤水分及猪毛蒿生长指标进行相关分析发现,猪毛蒿生长前期,土壤类型及水分主要影响株高和冠幅,对密度的影响较小。生长中、后期,土壤水分影响种群密度,而土壤类型主要影响冠幅。生长中期土壤类型影响株高,而后期两者间的相关性不显著,说明生长后期,猪毛蒿的高度基本稳定。由此可见,土壤水分主要影响猪毛蒿中、后期的种群密度,而土壤类型主要影响其冠幅。猪毛蒿在生长前期,种群数量较多,土壤水分的影响较小;随着个体生长,植株对于资源的竞争逐渐激烈,因此,土壤水分对猪毛蒿密度产生制约,出现种内竞争的自疏效应[40]。而不同的土壤类型由于土壤结构、质地、水分等的差异[41],影响植株冠幅的生长。

## 5 结 论

猪毛蒿的存活曲线属于凹型,为 r－对策者。不同土壤类型,猪毛蒿的生长状态不同。风沙土上,猪毛蒿的冠幅较大,而灰钙土上的密度较大。种内的水分竞争是造成短命植物猪毛蒿个体数量及形态特征差异的根本原因。不同的生长阶段,土壤类型、水分对猪毛蒿种群动态的影响不同。

**参考文献(References):**


〔1〕 杜华栋,焦菊英,寇萌,等. 黄土高原先锋种猪毛蒿叶片形态解剖与生理特征对立地的适应性〔J〕. 生态学报,2016,36(10):2 914－2 925.〔Du Huadong,Jiao Juying,Kou Meng,et al. Adaptability of foliar morphological,anatomical,and physiological characteristics of the pioneer species *Artemisia scoparia* growing in a hilly-gully Loess region at different slope sites〔J〕. Acta Ecology Sinica,2016,36(10):2 914－2 925.〕

〔2〕 陈林,宋乃平,王磊,等. 基于文献计量分析的蒿属植物研究进展〔J〕. 草业学报,2017,26(12):223－235.〔Chen Lin,Song Naiping,Wang Lei,et al. A bibliometric appraisal of research on *Artemisia* from 1986－2016〔J〕. Acta Prataculturae Sinica,2017,26(12):223－235.〕

〔3〕 彭文栋,朱建宁,王川,等. 以猪毛蒿为优势种荒漠化草场补播改良技术研究〔J〕. 宁夏农林科技,2013,54(1):16－18.〔Peng Wendong,Zhu Jianning,Wang Chuan,et al. Improved-pasture of *Artemisia scoparia* as dominant species in desert grassland〔J〕. Ningxia Journal of Agriculture and Forestry Science and Technology,2013,54(1):16－18.〕

〔4〕 Masaki T,Ota T,Sugita H,et al. Structure and dynamics of tree populations within unsuccessful conifer plantations near the Shirakami Mountains,a snowy region of Japan〔J〕. Forest Ecology and Management,2004,194(1):389－401.

〔5〕 Cai Fei,Song Yongchang. A study on the structure and dynamics of *Schima superba* population on Wuyi Mountain〔J〕. Acta Phytoecologica Sinica,1997,21(2):138－148.

〔6〕 Nanami S,Kawaguchi H,Tateno R,et al. Sprouting traits and population structure of co-occurring *Castanopsis* species in an evergreen broad-leaved forest in Southern China〔J〕. Ecological Research,2004,19(3):341－348.

〔7〕 许冬梅,王堃. 毛乌素沙地南缘生态过渡带土壤微生物特征〔J〕. 中国沙漠,2007,27(5):805－808.〔Xu Dongmei,Wang Kun. Characteristics of soil microbe in Southern ecotone of Mu Us sandy land〔J〕. Journal of Desert Research,2007,27(5):805－

808.]

〔8〕 刘世增,李昌龙,纪永福,等.甘肃省民勤连古城自然保护区沙木蓼种群的结构与动态〔J〕.生态学报,2017,37(8):2 763－2 769.〔Liu Shizeng,Li Changlong,Ji Yongfu,et al. Structure and dynamics of *Atraphaxis bracteata* populations in Minqin Lianguchen Nature Reserve,Gansu〔J〕. Acta Ecology Sinica,2017,37(8):2 763－2 769.〕

〔9〕 王文琪,王进军,赵志模.紫茎泽兰种子种群动态及萌发特性〔J〕.应用生态学报,2006,17(6):982－986.〔Wang Wenqi,Wang Jinjun,Zhao Zhimo. Seed population dynamics and germination characteristics of *Eupatorium adenophorum*〔J〕. Chinese Journal of Applied Ecology,2006,17(6):982－986.〕

〔10〕 张景光,李新荣,王新平,等.沙坡头地区固定沙丘一年生植物小画眉草种群动态研究〔J〕.中国沙漠,2001,21(3):232－235.〔Zhang Jingguang,Li Xinrong,Wang Xinping,et al. Population dynamic of annual plant *Eragrostis poaeoides* in fixed sand dune in Shapotou area〔J〕. Journal of Desert Research,2001,21(3):232－235.〕

〔11〕 杨新国,古君龙,王兴,等.荒漠草原中间锦鸡儿(*Caragana intermedia*)冠层穿透雨的发生与分布特征〔J〕.干旱区研究,2019,36(1):131－138.〔Yang Xinguo,Gu Junlong,Wang Xing,et al. Occurrence and distribution of throughfall under *Caragana intermedia* canopy in desert steppe〔J〕. Arid Zone Research,2019,36(1):131－138.〕

〔12〕 Cheng Xiaoli,An Shuqing,Li Bo,et al. Summer rain pulse size and rainwater uptake by three dominant desert plants in a desertified grassland ecosystem in Northwestern China〔J〕. Plant Ecology,2006,184(1):1－12.

〔13〕 陈林,杨新国,翟德苹,等.柠条秸秆和地膜覆盖对土壤水分和玉米产量的影响〔J〕.农业工程学报,2015,31(2):108－116.〔Chen Lin,Yang Xinguo,Zhai Deping,et al. Effects of mulching with *Caragana* powder and plastic film on soil water and maize yield〔J〕. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering,2015,31(2):108－116.〕

〔14〕 Vile D,Pervent M,Belluau M,et al. Arabidopsis growth under prolonged high temperature and water deficit:Independent or interactive effects〔J〕. Plant Cell and Environment,2012,35(4):702.

〔15〕 Walck J L,Hidayati S N,Dixon K W,et al. Climate change and plant regeneration from seed〔J〕. Global Change Biology,2011,17(6):2 145－2 161.

〔16〕 李克让,陈育峰,黄玫,等.气候变化对土地覆被变化的影响及其反馈模型〔J〕.地理学报,2000,55(增刊1):57－63.〔Li Kerang,Chen Yufeng,Huang Mei,et al. Model studies of the impacts of climate change on land cover and its feedback〔J〕. Acta Geographica Sinica,2000,55(Suppl.1):57－63.〕

〔17〕 焦德志,么璐,黄曌月,等.东北草地异质生境芦苇芽种群动态〔J〕.应用生态学报,2015,26(2):404－410.〔Jiao Dezhi,Yao Lu,Huang Zhaoyue,et al. Bud population dynamics of *Phragmites australis* in heterogeneous habitats of northeast grass-land,China〔J〕. Chinese Journal of Applied Ecology,2015,26(2):404－410.〕

〔18〕 李海燕,杨允菲.松嫩平原杂类草草甸和榆树疏林草原大油芒种群的年龄结构〔J〕.应用生态学报,2011,22(8):1 982－1 986.〔Li Haiyan,Yang Yunfei. Age structures of *Spodiopogon sibiricus* populations on weedy meadow and elm woodland in Songnen Plain,Northeast China〔J〕. Chinese Journal of Applied Ecology,2011,22(8):1 982－1 986.〕

〔19〕 陈林,杨新国,宋乃平,等.种植年限对荒漠草原区苜蓿地表层土壤特性的影响〔J〕.浙江大学学报(农业与生命科学版),2014,40(5):541－550.〔Chen Lin,Yang Xinguo,Song Naiping,et al. Effects of planting *Alfalfa* on soil quality in desert steppe of Ningxia〔J〕. Journal of Zhejiang University (Agriculture and Life Sciences Edition),2014,40(5):541－550.〕

〔20〕 阎欣,安慧.宁夏荒漠草原沙漠化过程中土壤粒径分形特征〔J〕.应用生态学报,2017,28(10):3 243－3 250.〔Yan Xin,An Hui. Fractal features of soil particle size distribution in the process of desertification in desert grassland of Ningxia,China〔J〕. Chinese Journal of Applied Ecology,2017,28(10):3 243－3 250.〕

〔21〕 李孝泽,董光荣,靳鹤龄,等.鄂尔多斯白垩系沙丘岩的发现〔J〕.科学通报,1999,44(8):874.〔Li Xiaoze,Dong Guangrong,Jin Heling,et al. The discovery of the Cretaceous dunes in Ordos〔J〕. Chinese Science Bulletin,1999,44(8):874.〕

〔22〕 陈林,宋乃平,杨新国,等.具有野外增减雨和活动围栏作用的组合试验装置〔P〕.中国:ZL201720618832.9.2017－12－19.〔Chen Lin,Song Naiping,Yang Xinguo,et al. Combined Experimental Device with Field Increasing and Decreasing Rain and Movable Fence〔P〕. China:ZL201720618832.9.2017－12－19.〕

〔23〕 马全林,鱼泳,陈芳,等.干旱区沙漠化逆转过程土壤水分的空间异质性特征〔J〕.干旱区地理,2010,33(5):716－724.〔Ma Quanlin,Yu Yong,Chen Fang,et al. Spatial heterogeneity of soil water content in the reversion process of desertification in arid area〔J〕. Arid Land Geography,2010,33(5):716－724.〕

〔24〕 李新荣,马凤云,龙立群,等.沙坡头地区固沙植被土壤水分动态研究〔J〕.中国沙漠,2001,21(3):217－222.〔Li Xinrong,Ma Fengyun,Long Liqun,et al. Soil water dynamics under sand-fixing vegetation in Shapotou area〔J〕. Journal of Desret Research,2001,21(3):217－222.〕

〔25〕 倪盼盼,朱元骏,巩铁雄.黄土塬区降水变化对麦田土壤水分及水分利用效率的影响〔J〕.干旱地区农业研究,2017,35(4):80－87.〔Ni Panpan,Zhu Yuanjun,Gong Tiexiong. Effects of rainfall fluctuation on water consumption and water use efficiency of winter wheat in the Loess Tableland〔J〕. Agricultural Research in the Arid Areas,2017,35(4):80－87.〕

〔26〕 马晓东,李卫红,朱成刚,等.塔里木河下游土壤水分与植被时空变化特征〔J〕.生态学报,2010,30(15):4 035－4 045.〔Ma Xiaodong,Li Weihong,Zhu Chenggang,et al. Spatio-temporal variation in soil moisture and vegetation along the lower reaches of Tarim River,China〔J〕. Acta Ecology Sinica,2010,30(15):4 035－4 045.〕

〔27〕 张景光,王新平,李新荣,等.荒漠植物生活史对策研究进展与

展望〔J〕. 中国沙漠,2005,25(3):306 – 314.〔Zhang Jingguang, Wang Xinping, Li Xinrong, et al. Advances and prospect of researches on desert plant life history strategies〔J〕. Journal of Desret Research,2005,25(3):306 – 314.〕
〔28〕 Westoby M, Leishman M, Lord J, et al. Comparative ecology of seed size and dispersal〔J〕. Philosophical Transactions of the Royal Society B Biological Sciences,1996,351(1 345):1 309 – 1 318.
〔29〕 徐彩琳,李自珍. 荒漠一年生植物小画眉草的种群动态调节与模拟〔J〕. 西北植物学报,2002,22(6):1 415 – 1 420.〔Xu Cailin, Li Zizhen. Population regulation and dynamical simulation of annual plant *Eragrostis poaeoides* in desert region〔J〕. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica,2002,22(6):1 415 – 1 420.〕
〔30〕 洪震,刘术新,练发良,等. 4 个小叶蚊母树无性系幼苗在不同土壤类型上的生长差异〔J〕. 浙江农林大学学报,2018,35(2):380 – 386.〔Hong Zhen, Liu Shuxin, Lian Faliang, et al. Growth difference of four *Distylium buxifolium* clone seedlings in different soil types〔J〕. Journal of Zhejiang A & F University,2018,35(2):380 – 386.〕
〔31〕 焦德志. 扎龙湿地保护区芦苇种群构件动态及其对土壤驱动因子响应〔D〕. 吉林:东北师范大学,2017.〔Jiao Dezhi. Dynamic of Modules and Response to Soil Driving Factors of *Phragmites australis* Population in Zhalong Wetland National Reserve〔D〕. Jilin:Northeast Normal University,2017.〕
〔32〕 曹建新,姜远标,张劲峰,等. 不同土壤条件下滇青冈和元江栲幼苗生长特征的比较〔J〕. 南京林业大学学报(自然科学版),2009,33(1):79 – 82.〔Cao Jianxin, Jiang Yuanbiao, Zhang Jinfeng, et al. Comparison of growth characteristics on seedlings of *Cyclobalanopsis glaucoides* and *Castanopsis orthacantha* in different soil conditions〔J〕. Journal of Nanjing Forestry University Natural Sciences Edition,2009,33(1):79 – 82.〕
〔33〕 吴春红,赵帅鹏,朱建峰,等. 不同土壤类型对白榆家系生长指标影响的初探〔J〕. 山东林业科技,2018,48(3):11 – 15.〔Wu Chunhong, Zhao Shuaipeng, Zhu Jianfeng, et al. The effects od different soil types on the growth index of *Ulmus pumila* families〔J〕. Journal of Shandong Forestry Science and Technology,2018,48(3):11 – 15.〕
〔34〕 Raiesi F. Soil properties and C dynamics in abandoned and cultivated farmlands in a semi-arid ecosystem〔J〕. Plant and Soil, 2012,351(1 – 2):161 – 175.
〔35〕 熊炳桥,赵丽娅,张劲,等. 草地沙漠化过程中土壤与地上植被的变化及其相互关系〔J〕. 生态环境学报,2017,26(3):400 – 407.〔Xiong Bingqiao, Zhao Liya, Zhang Jin, et al. Relationship between the soil and standing vegetation changes during grassland desertification process〔J〕. Ecology and Environmental Sciences, 2017,26(3):400 – 407.〕
〔36〕 范连连,李耀明,Nataliia Terekhina,等. 冷荒漠草本植物数量特征对不同水分输入和气象因子的响应〔J〕. 干旱区研究,2019, 36(1):139 – 146.〔Fan Lianlian, Li Yaoming, Nataliia Terekhina, et al. Response of herbaceous plant quantity to different water input and meteorological factors in a cold desert〔J〕. Arid Zone Research,2019,36(1):139 – 146.〕
〔37〕 张腊梅,刘新平,赵学勇,等. 科尔沁固定沙地植被特征对降雨变化的响应〔J〕. 生态学报,2014,34(10):2 737 – 2 745.〔Zhang Lamei, Liu Xinping, Zhao Xueyong, et al. Response of sandy vegetation characteristics to precipitation change in Horqin Sandy Land〔J〕. Acta Ecology Sinica, 2014, 34(10):2 737 – 2 745.〕
〔38〕 闫建成,梁存柱,付晓玥,等. 草原与荒漠一年生植物性状对降水变化的响应〔J〕. 草业学报,2013,22(1):68 – 76.〔Yan Jiancheng, Liang Cunzhu, Fu Xiaoyue, et al. The responses of annual plant traits to rainfall variation in steppe and desert regions〔J〕. Acta Prataculturae Sinica,2013,22(1):68 – 76.〕
〔39〕 谢开云,赵云,李向林,等. 豆 – 禾混播草地种间关系研究进展〔J〕. 草业学报,2013,22(3):284 – 296.〔Xie Kaiyun, Zhao Yun, Li Xianglin, et al. Relationships between grasses and legumes in mixed grassland:A review〔J〕. Acta Prataculturae Sinica,2013, 22(3):284 – 296.〕
〔40〕 樊星,蔡捡,刘金平,等. 葎草种群自疏过程中幼苗构件性状及生物量分配变化〔J〕. 生态学杂志,2016,35(11):2 926 – 2 934.〔Fan Xing, Cai Jian, Liu Jinping, et al. Module traits and biomass allocation of *Humulus scandens* seedlings during population selfthinning〔J〕. Chinese Journal of Ecology,2016,35(11):2 926 – 2 934.〕
〔41〕 邹俊亮,邵明安,龚时慧. 不同植被和土壤类型下土壤水分剖面的分异〔J〕. 水土保持研究,2011,18(6):12 – 17.〔Zou Junliang, Shao Mingan, Gong Shihui. Effects of different vegetation and soil types on profile variability of soil moisture〔J〕. Research of Soil and Water Conservation,2011,18(6):12 – 17.〕

# Effects of Soil Types and Precipitation Variation on Dynamic Status of *Artemisia scoparia* Population

SU Ying[1,2], LI Yue-fei[1,2], CHEN Lin[1,2], ZHU Zhong-you[1,2], YUAN Chuang[1,2,3], MENG Wen-ting[1,2], ZHU Lin[1,2]

(1. *Key Laboratory for Restoration and Reconstruction of Degenerated Ecosystem in Northwest China under Ministry of Education, Ningxia University, Yinchuan* 750021, *Ningxia, China*;

2. *Breeding Base for State Key Laboratory of Land Degradation and Ecological Restoration in Northwest China, Ningxia University, Yinchuan* 750021, *Ningxia, China*;

3. *College of Agriculture, Ningxia University, Yinchuan* 750021, *Ningxia, China*)



**Abstract**: *Artemisia scoparia*, a herbaceous plant species in the desert steppe in Yanchi County, Ningxia, was taken as the research object. Three soil types including sandy soil, weathered bedrock residual soil and sierozem soil were selected, a field device was used to change the rainfall pattern, and the samples were collected from the delimited sample plots to analyze the effects of these factors on the dynamic status of *A. scoparia* population. The results showed that the bulk moisture content of weathered bedrock residual soil was higher than that of sandy soil and sierozem soil. In the rainfall-increased zone, the bulk moisture contents of sandy soil, weathered bedrock residual soil and sierozem soil were increased by 10.6%, 6.6% and 20.2% respectively, but they were decreased by 44.1%, 9.2% and 20.1% respectively in the rainfall-decreased area. The survival curve of *A. scoparia* was concave, and the plant species was a typical r-strategist. Comparatively, the canopy of *A. scoparia* growing on sandy soil was larger, but the density of the plants growing on sierozem soil was larger. At the middle growth stage of *A. scoparia*, the plant height and canopy on sandy soil in the rainfall-increased zone were higher, but the plant density in the rainfall-reduced area was higher. On weathered bedrock residual soil, the plant density in the rainfall-decreased was high, but the plant height and canopy were higher. On sierozem soil, the plant density in the rainfall-decreased zone was the lowest, but the plant height and canopy were higher. At the early growth stage, the soil type, soil moisture, plant height and canopy were negatively correlated. At the middle growth stage, there were the significant negative correlations between soil moisture and plant density, between soil type and plant height, and between soil type and canopy. At the later growth stage, the soil moisture content was extremely negatively correlated with plant density, and the soil type was extremely negatively correlated with canopy. The biomass of *A. scoparia* was positively correlated with total carbon content and total nitrogen content ($P<0.05$), and negatively correlated with total phosphorus content ($P<0.05$).

**Key words**: *Artemisia scoparia*; soil type; precipitation variation; survival curve; population dynamic; desert steppe; Yanchi County; Ningxia